

○ジェイアル西日本コンサルタンツ(株) 正会員 大橋 孝男

ジェイアル西日本コンサルタンツ(株) 正会員 長野 孝司

1. はじめに

非開削工法により管路を敷設する場合の地表面変位量の予測には、従来から Jeffery(Limanov)等の理論式が用いられてきたが、近年は有限要素法(FEM)が多く用いられている。

本研究は特に線路下掘削を対象としているが、現段階で掘削による影響予測から計測管理に至るまでの実務を考えた場合、地表面変位に限定した影響予測についてはFEMを行わない簡略手法を基本とした考え方でも十分であることが経験的にはわかっている(図-1)。そこで、推進工法全般についてこの考え方が適用できるか検証するとともに、掘削後にテールボイドで変形が起こるような複雑な場合にも通用する簡易手法の提案を試みる。

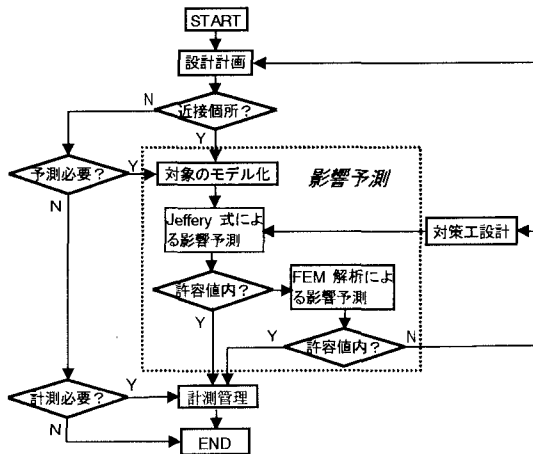


図-1. 線路下掘削時の影響検討

2. 比較検討概要

線路下掘削に先立って影響予測が行なわれた事例は多数あるが、異なる解析手法による算出結果を同一レベルで評価していた。図-2に示すような推進工事(裏込注入なしの場合)において、推進管の背面の状態は、①素掘りの状態と②背面の空隙が全て埋まってしまった状態が考えられる。この2つについて、解析に用いる管背面の変位量、および適用可能な解析手法を表-1に示す。応力解放率を100%とした場合の推進管背面の変位量が余掘り量(テールボイド量)を超える場合には、強制変位入力によるFEMが必要になり、簡易手法であるJeffery式のみでは推進工法による全ての影響を予測できない。そこで最初に①の状態では2手法の予測結果を比較し、線路下の工事規模として考えられるほとんどの場合において (Jeffery 式)>(FEM) となる

ことを確認した後、Jeffery 式を用いて②の状態の影響を予測する手法を考える。

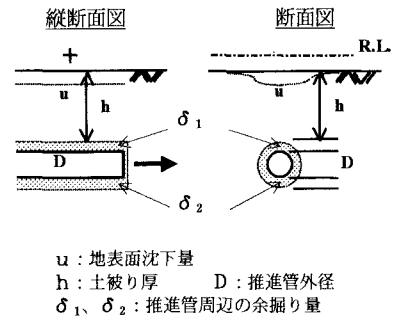


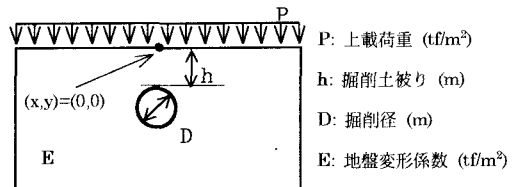
図-2. 線路下横断推進工事掘削モデル

表-1. 推進管背面の変位量と適用可能な解析手法

CASE	推進管背面の変位量 δ	適用可解析手法
①	応力解放率 $\alpha=100\%$ としたときの 変位量	FEM Jeffery 式
②	δ_1 (管直上), δ_2 (管直下) → 強制変位で入力	FEM

3. 素掘り状態での算出結果比較

まず、両手法で検討可能な①素掘りの状態において、掘削土被り h 、掘削径 D 、地盤変形係数 E による両解析手法の結果を比較した。検討モデルを図-3に記す。



※ 土の単位体積重量 $\gamma=1.8$ tf/m³

応力解放率 $\alpha=100\%$ 、 β° 角 $\nu=0.3$

図-3. 比較検討モデル(素掘り状態)

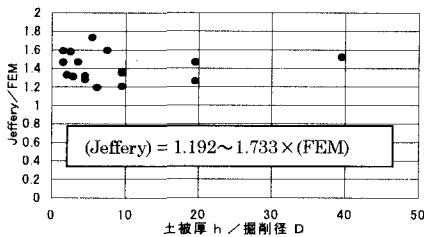
(I) 掘削土被りと掘削径による比較

上載荷重 P と変形係数 E をそれぞれ $P=5$ tf/m²、 $E=1400$ tf/m² で固定して比較すると、図-4に示すとおり、線路下の工事規模として考えられる掘削径 0.5~5.0m、土被厚 2.5~19.5m の組み合わせにおいて Jeffery 式による算出値が FEM の算出値を上回る結果となることわかった。

(II) 地盤の変形係数による比較

上載荷重 P と掘削土被り h 、掘削径 D について、それぞれ $P=5$ tf/m²、 $h=4.5$ m、 $r_0=1.0$ m で固定して比較すると、図-5に示す

とおり、地盤の変形係数の違いは Jeffery 式と FEM の結果の差異に影響しないことが確認できた。つまり、任意の点(x,y)における変位量は Jeffery 式の内容から変形係数 E の大きさに反比例すると言ってよいと思われる。



※掘削径 $D=0.50\sim5.00$ m、土被厚 $h=2.50\sim19.50$ m

図-4. 算出結果の比較(掘削径Dと土被厚hの影響)

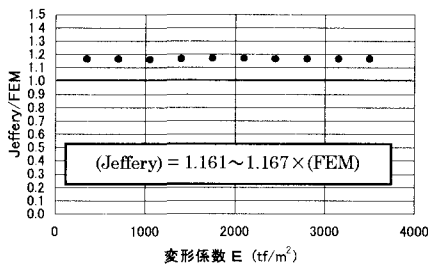


図-5. 算出結果の比較(地盤変形定数Eの影響)

4. 推進管背面が埋まった状態での比較

前述のとおり、Jeffery 式では掘削面の変位を強制変位として入力することはできないが、素掘りの状態における掘削面の変位を算出することができる。このことを利用して地表面沈下量の算出結果 u と掘削面の変位量 δ の比 u/δ の比較を行なうことで、推進管背面が埋まった場合の FEM 結果を Jeffery 式を用いて簡易に推定することを試みる。

推進管背面(掘削面)の変位量(図-6)は、FEM については仮定とおり推進管背面の空隙が全て埋まるものとして入力した δ_F を、Jeffery 式は応力解放率 100 % として算出した値のうち推進管直上の δ_{J1} と推進管直下の δ_{J2} との平均値 δ_J を用いる。

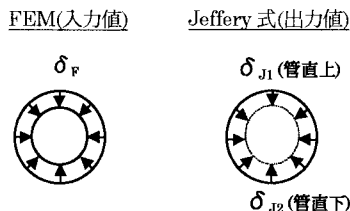
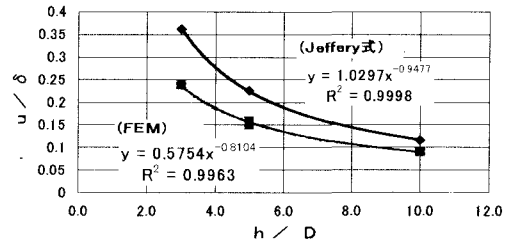


図-6. 推進管背面の掘削面変位量

X 軸に土被厚 h と掘削径 D の比を、Y 軸に掘削面の変形量 δ が地表面の変形量 u に与える影響度 u/δ をとり、それぞれの

手法について回帰分析を行なった結果を図-7 に示す。

これにより、掘削面の変形量 δ が地表面沈下量 u に与える影響度が h と D によって説明され、従来簡易式で検討できなかった推進管背面の強制変位による影響予測も Jeffery 式で行なえることが分かった。すなわち、土被厚 h 、掘削径 D が与えられ、施工法からテールボイド厚がわかるため、これを掘削面変位 δ と考えると、グラフ上で地表面沈下量 u が推定できる。



※テールボイド強制変位量 $\delta_F = 5\sim15$ mm

変形係数 $E=1400$ tf/m² 応力解放率 $\alpha=100$ %
土の単位体積重量 $\gamma=1.8$ tf/m³、ポアソン比 $\nu=0.3$

図-7. 推進管背面が埋まった状態の検討結果

5. 本研究の結論

線路下推進工事における地表面変位量の予測について、本研究でわかったことは次の4点である。

I. Jeffery 式による予測結果は FEM より大きな値となり、これまでの予測は FEM に対して安全側であったと推測できる。

II. 地表面沈下量は掘削径、土被厚、掘削余掘量の3条件より FEM なしでも簡易的に予測できる。

III. したがって、弾性で地層に変化がなく、他の既設構造物(線路は除く)の影響を受けない箇所での管路掘削では、Jeffery 式の結果が鉄道の軌道整備目標値を下回れば、FEM なしでも次の段階(計測管理計画等)に移ることができる。

IV. 今後現場計測結果等により、図-7 に示す予測式の精度をあげることで、裏込注入のない推進工事における地表面沈下量がグラフ上で予測できる。

6. あとがき

今回は解析手法に着目して、線路下推進工事を例に影響予測の簡易手法を提案した。今後は地盤のモデル化、解析領域の設定、荷重の設定、既設構造物と変状対策工のモデル化等についても並行して整理する予定である。

【参考文献】

K.フェッター著、島田隆夫訳：トンネル工学、鹿島研究所出版会、1971